

Kapitel 1

Einleitung

In den letzten 30 Jahren zeichnet sich die Integration verschiedener digitaler Lernmedien in den Unterricht ab (Katterfeldt et al., 2015). Eine Teildisziplin sind Informatiksysteme, die der Robotik zuzuordnen sind, wie z. B. die weltweit verbreiteten LEGO Mindstorms-Roboter. Seitdem Mikrocontroller und Mini-Computing wie von Arduino¹ und Raspberry Pi² erschwinglich wurden, werden sie in vielen Anwendungsbereichen eingesetzt. Der Markt ist inzwischen geprägt von einer Gerätevielfalt und Anwendungsbeispielen für alle Zielgruppen. Um diese Fülle an Geräten unter einem Begriff zusammenzufassen, entwickelten sich verschiedene Termini. Zur Beschreibung des Feldes in der Schule und in der Wissenschaft etablierte sich im deutschsprachigen Raum der Begriff *Physical Computing* (vgl. Bildungsserver Berlin-Brandenburg, 2015).

Inzwischen wird Physical Computing (PhC) weiter gefasst, hat somit einen großen Einfluss auf das heutige Leben und ist allgegenwärtig. Dies zeichnet sich zum Beispiel in Form des sogenannten *Maker Movement* ab, welches durch Veranstaltungen wie die *Maker Faire* (Maker Media, Inc., 2017) öffentlichkeitswirksam wird und durch *Maker Spaces* (UnternehmerTUM MakerSpace GmbH, 2016) und *Fab Labs* (Fab Lab Berlin, 2016) (zum Beispiel in Berlin) ständig vertreten ist. In diesem Rahmen wird eine Plattform geschaffen, auf der kreative Ideen ausgetauscht und umgesetzt werden können sowie benötigte Materialien (wie 3D-Drucker, Laser Cutter, Lötkolben) zur Verfügung stehen können. Außerdem werden Workshops zur Anregung der Kreativität und zum Umgang mit den Geräten vor Ort angeboten. Ein Beispielprojekt mit einem Arduino-Mikrocontroller ist in Abbildung 1.1 illustriert. Darin wird eine LED-Ampel in Abhängigkeit zur Umgebungshelligkeit angesteuert. Ein ähnliches Projekt kann in Form von E-Textilien durch einen LilyPad-Mikrocontroller³ implementiert werden (vgl. Abbildung 1.2). Bislang wird in der Forschung von dem Physical-Computing-Gerät als Gegenstand ausgegangen, ohne dass eine systematische Analyse der Gerätekategorien stattfindet. Nur selten werden didaktische Schlüsse über einzelne Geräte hinweg gezogen. Der Problemlöseprozess und spezifische

¹ <https://www.arduino.cc>

² <https://www.raspberrypi.org>

³ <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardLilyPad/>

Probleme bei der Arbeit mit Physical-Computing-Geräten werden teilweise sekundär beschrieben. So kann z. B. das Design von Schaltkreisen sowie das handwerkliche Geschick während Physical-Computing-Aktivitäten zu Problemen führen (Kafai et al., 2014b).

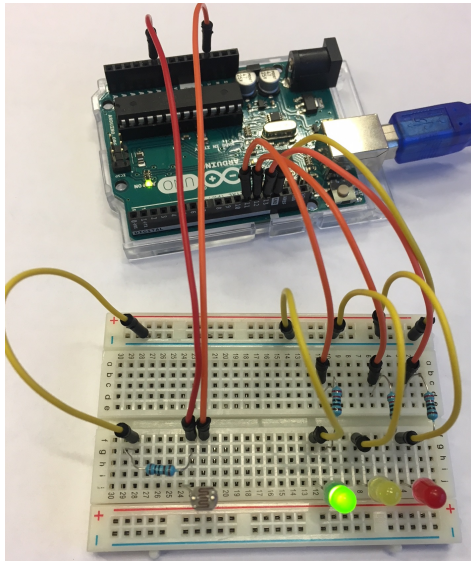


Abbildung 1.1: Beispiel eines Arduino-Mikrocontrollers als Helligkeitsampel

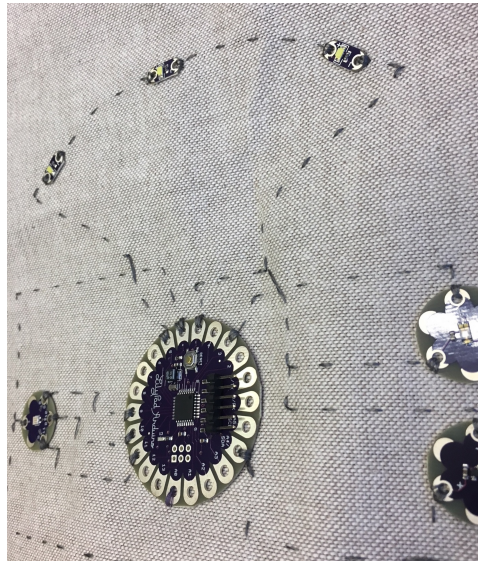


Abbildung 1.2: Beispiel eines Lilypad-Mikrocontrollers als Helligkeitsampel

Durch die Arbeit mit Sensoren und Aktuatoren scheinen im Physical-Computing-Prozess Messunsicherheiten und verwandte Probleme zu entstehen. Diese werden durch Hardwarekomponenten verursacht und sind damit Bestandteil des Problemlöseprozesses. Ähnliche Probleme und Prozessbestandteile (wie das Planen, Testen und Evaluieren) sind aus dem naturwissenschaftlichen Experimentieren bekannt und werden dem Forschungsgebiet der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung (auch Scientific Inquiry) zugeordnet. Der Prozess der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung wird in den Naturwissenschaften bereits seit Jahrzehnten untersucht und in verschiedenen internationalen Bildungsstandards als Kompetenz explizit gefordert (Kultusministerkonferenz, 2005; Rocard et al., 2007). Er ist ein wichtiges internationales Bildungsziel zur Entwicklung von naturwissenschaftlichem Verständnis. Da eine Vielzahl von Defiziten bei den Schülerinnen und Schülern (SuS) aufgedeckt wurden, ist dieser in den Fokus der Bildungsstandards gesetzt worden. Einige Ähnlichkeiten der Prozesse (wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung und Physical Computing) und benötigter Fähigkeiten von Schülerinnen und Schülern wurden bereits von Sullivan (2008) beschrieben. Bisher fokussierte sich die Untersuchung des Physical Computing auf die verwendeten Geräte. Aufgrund der möglichen Überschneidungen des Physical-Computing-Prozesses mit einem gut erforschten Bereich in den Naturwissenschaften, sollen die Gemeinsamkeiten und Unterschiede beider Prozesse in dieser Arbeit herausgestellt werden. Insbesondere für die Informatik hat dieses Ziel einen Mehrwert, da Erkenntnisse aus der naturwissenschaftlichen Forschung möglicherweise auf die Informatik übertragbar werden und zur Grundlagenforschung in der Informatikdidaktik beitra-

Kapitel 2

Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden wesentliche Aspekte des Forschungsfelds Physical Computing vorgestellt und das Themenfeld abgegrenzt. Dafür werden zunächst verschiedene Begriffsdefinitionen betrachtet und Forschungsergebnisse präsentiert, die den State-of-the-Art des Physical Computing darlegen. Die aktuelle Rolle von interdisziplinären Projekten, die mittels Physical Computing realisiert werden, wird durch einige Beispiele veranschaulicht. Dem schließt sich eine Literaturrecherche im Bereich der wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung an. Die Abgrenzung verschiedener Begriffe und die Vorstellung eines Prozessmodells zum Experimentieren stehen dabei im Fokus.

Diese Literatúrauswahl bildet den 1. Mikro-Zyklus (Analysis and Exploration I) im DBR-Prozess und dient der Erschließung des Forschungsfelds. Am Ende des Kapitels werden von identifizierten Forschungslücken konkrete Forschungsfragen für diese Dissertation hergeleitet.

2.1 Stand der Forschung im Physical Computing

Der Begriff des *Physical Computing* hat sich in den letzten Jahren herausgebildet und wird generell aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet. Es handelt sich dabei einerseits um einen Term, der offen genug sein muss, um neue Geräte einzuschließen, andererseits ist er allgemeingültig und nur schwach abgegrenzt gegenüber anderen Begriffen. Physical Computing beschreibt eine Vielzahl verschiedener Technologien, die bereits zuvor existierten und mit anderen Terminologien beschrieben wurden. So sind z. B. Roboter Objekte des Physical Computing, obwohl der eigenständige Wissenschaftszweig der Robotik existiert. O’Sullivan und Igoe grenzen den Begriff hingegen von der Robotik ab, da Roboter zumeist nur kurzzeitig mit ihrer Umgebung interagieren. Physical-Computing-Systeme interagieren üblicherweise längerfristig mit der Umgebung. Sie beschreiben Physical Computing als „[it] is about creating a conversation between the physical world and the virtual world of the computer“ (O’Sullivan und Igoe, 2004, S. xix).

Przybylla und Romeike wählen einen ähnlichen Ansatz, in dem sie die Interaktion der

Geräte mit der Umgebung detaillierter beschreiben: „Interactive Objects [...] perceive their environment with sensors, which in turn deliver data to be processed by the microcontroller. According to the configuration of the systems these data are processed and passed on to the actuators“ (Przybylla und Romeike, 2014a, S. 9). Die Aufnahme von Umgebungsdaten geschieht demnach durch Sensoren (wie z. B. Berührungs-, Ultraschall- und Lichtsensoren). Aktuatoren (wie z. B. Motoren und LED-Lampen) beeinflussen die Umgebung und greifen aktiv in sie ein.

Cross et al. hingegen verwenden Robotik synonym zu Physical Computing und schließen ebenfalls Roboter neben weiteren Mikrocontrollern unter *Robotics* ein (Cross et al., 2015). In dieser Arbeit wird der Begriff des Physical Computing von Przybylla und Romeike verwendet, da dieser die Charakteristiken von Physical-Computing-Geräten angemessen beschreibt. Aufgrund der darin beschriebenen Systemkomponenten von Physical Computing, wird der Begriff Physical-Computing-System synonym zum Physical Computing verwendet. Zusätzlich wird jedoch die Gerätevielfalt von Cross et al. aufgegriffen, die die Zugehörigkeit von Robotern zum Physical Computing impliziert. Literaturbasiert kann dieses Vorgehen damit begründet werden, dass der Physical-Computing-Begriff (vgl. Przybylla und Romeike, 2014a; O’Sullivan und Igoe, 2004) ebenfalls Charakteristika von Robotern beschreibt. Somit werden Roboter in dieser Arbeit als Physical-Computing-Geräte eingeordnet. Wird im Folgenden eine Unterscheidung der Geräte vorgenommen und explizit die Verwendung von z. B. Robotern beschrieben, so wurden in diesem Kontext ausschließlich Roboter und keine weiteren Physical-Computing-Geräte verwendet. Die Unterscheidung der Geräte kann wichtige Informationen bieten, die für weitere Kategorisierungen in der Physical-Computing-Forschung notwendig sind.


Die Abgrenzung des zuvor beschriebenen *Bifocal Modelling* zum Physical Computing besteht darin, dass beim *Bifocal Modelling* zwar Daten aus der Umgebung aufgenommen und verarbeitet werden, jedoch der Eingriff in die Umgebung fehlt, um von einer Interaktion mit der Umgebung zu sprechen. Da es sich bei diesem Ansatz um Kontexte der Naturwissenschaften handelt, ist das Vorgehen vertretbar. Jedoch zeichnen sich Modelle in der Informatik dadurch aus, dass sie ein Feedback an die Umgebung zurückgeben und diese dadurch erneut beeinflussen.

Einen Abriss zur Entwicklung des Physical Computing und dazu gehörenden Geräten nimmt Blickstein vor. Er stellt heraus, dass die Geräte inzwischen erneut besonders technisch werden – wovon die NutzerInnen zuvor geschützt werden sollten. Dadurch stellt sich der Prozess als zeitintensiv heraus, der benötigt wird, um die Geräte funktionsfähig zu machen (Blickstein, 2013).

Przybylla und Romeike (2015) nahmen eine Einteilung verschiedener Geräte im Physical Computing vor. In dieser Klassifikation werden verschiedene Typen von Physical-Computing-Geräten nach ihrer Komplexität eingeteilt und eine weitere Unterteilung ihrer

Funktionalität und des Aufbaus vorgenommen (siehe Tabelle 2.1). In diesem Modell sind die LEGO Mindstorms-Roboter relativ weit oben angesiedelt, was bedeutet, dass sie in der Komplexität als vergleichsweise einfach eingestuft werden. Mikrocontroller wie Arduinos hingegen, weisen eine höhere Komplexität auf und werden tiefer in der Übersicht angeordnet. Aus der Tabelle geht ebenfalls hervor, ob die Geräte in Modulen angelegt sind oder alle Funktionalitäten bereits *on-Board* und damit fest verlötet sind. Diese Einteilung verbleibt auf einer technischen Ebene, was einerseits Blicksteins Einschätzung der zunehmenden technischen Komplexität widerspiegelt. Andererseits enthält das Modell keine Informationen über Anwendungsbereiche von Physical Computing im Informatikunterricht oder Hinweise, die auf den ablaufenden Problemlöseprozess während der Interaktion mit Physical-Computing-Geräten schließen lassen.

Tabelle 2.1: Klassifikation von Physical-Computing-Geräten nach Przybylla und Romeike (2015)

Difficulty	Type	Features	Examples	
	programmable toys		Finch, Beebot, Big Track	
	programmable bricks (modular)		LEGO WeDo, LEGO Mindstorms, Pico Cricket	
	I/O devices	everything on board with modules		Phidges, Theremino, Senseboard Kit
		everything on board without modules	<i>sensing</i>	PicoBoard, HCIs (e.g. Makey-Makey)
			<i>acting</i>	-
			<i>sensing and acting</i>	SenseBoard
	nothing on board		Velleman Board	
	micro controller boards	with modules		MyIG, Tinkerkit, Hummingbird, Gadgeteer
		without modules		Arduino Family, Wiring Board, E-Textiles
	mini computers	with modules		Arduino TRE / Intel Galileo + Arduino-compatible modules, Raspberry Pi + Pi-Face
without modules			Raspberry Pi, Beagle Board, Intel Galileo	
complex				

Die Einteilung von Physical-Computing-Geräten wurde ebenfalls auf inhaltlicher Ebene vorgenommen und beschreibt die Verwendung der Geräte. Katterfeldt et al. (2015) motivieren ihre Arbeit damit, dass inzwischen eine große Vielfalt an Geräten sowie sogenannte *Construction Kits* (Physical-Computing-Baukästen) existieren, die derzeit für ihre Anwendungsfälle nicht ausreichend strukturiert sind. Daraufhin entwickelten sie eine Taxonomie,